

## بررسی تغییرات اقلیمی و محیطی کواترنری پایانی با استفاده از کانی‌شناسی رس‌ها در پلایای گاوخونی

طاهره جلیلیان - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان.  
علیرضا تقیان\* - استادیار دانشکده علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.  
راضیه لک - دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
جواد درویشی خاتونی - کارشناس دفتر بررسی‌های زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۹      تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۱۱

### چکیده

برای انجام بررسی‌های تغییرات اقلیمی براساس کانی‌شناسی رس‌ها، تعداد ۱۶ مغزه رسوبی با استفاده از مغزه گیر دستی از رسوبات بستر پلایای گاوخونی و زمین‌های اطراف برداشت شد. تعداد ۹۰ نمونه از ۹ مغزه رسوبی برداشت و جهت آنالیز پراش اشعه ایکس به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس، نشان می‌دهد که رسوبات در پلایای گاوخونی به ترتیب فراوانی حاوی کانی‌های رسی ایلیت، کلریت، مونت‌موریلونیت، کائولینیت می‌باشد. همچنین به عنوان کانی‌های اصلی، کوارتز، کلسیت، فلدسپار، کانی‌های تبخیری و دولومیت نیز در پیک گراف‌ها دیده می‌شوند. بررسی توالی‌های رسوبی در مغزه‌های برداشت شده نشان‌دهنده افزایش رسوبات دانه‌ریز و کانی‌های تبخیری از حاشیه پلایا به سمت بخش‌های مرکزی است. آنالیز سن‌سنجی به روش ایزوتوپی کربن ۱۴، نرخ رسوبگذاری در بخش‌های غربی حدود ۴/۰ میلی متر و بخش‌های شرقی را ۲۵/۰ میلی متر در سال نشان داد. با توجه به نرخ رسوبگذاری و عمق مغزه‌های برداشت شده، تغییرات اقلیمی حداکثر در ۴۰ هزار سال گذشته بازسازی شد. در پلیستوسن پسین اقلیم منطقه گاوخونی مرطوب‌تر از زمان حال بوده است. این شرایط که با حضور کانی‌های کائولینیت و مونت‌موریلونیت تا ۱۸ هزار سال گذشته ادامه داشته و باعث پیشروی خطوط ساحلی شده است. بعد از آن تا اوایل هولوسن (۱۲ هزار سال گذشته) با کاهش تدریجی رطوبت و پسروی ساحل همراه بوده است و با افزایش کانی‌های تبخیری از قبیل هالیت و کارنالیت و حضور کانی رسی کلریت همراه بوده است. با شروع هولوسن دوره خشک بصورت تدریجی ایجاد شده است و در حدود ۸ هزار سال قبل به اوج خود رسیده است. در هولوسن میانی و پسین مجدداً شرایط رطوبتی بصورت تدریجی ایجاد شده است. همچنین در حدود هزار سال پیش، اقلیم نیمه خشک حاکم شده است که با افزایش در میزان نهشته‌های تبخیری همراه بوده است.

واژگان کلیدی: کانی رسی، اقلیم دیرینه، تغییر اقلیم، پلایای گاوخونی، کواترنری.

## مقدمه

شواهد نوسان‌های اقلیمی و محیطی پلیستوسن و هولوسن در ایران از بررسی‌های سامانه‌های مختلف ژئومورفیک از جمله رسوبات دریاچه‌ای، پلایاها و کویرها، مورن‌های یخچالی، نمودهای حاشیه یخچالی، گنبد‌های نمکی، رسوبات آبرفتی و همچنین تراس‌های رودخانه‌ای و دریایی استنباط شده است (صمدزاده و صمیمی هشتچین، ۱۳۹۷؛ ۱۴۸). یکی از روش‌های مطالعه تغییرات اقلیمی در طول کواترنری و غالباً هولوسن، مطالعه کانی‌های رسی در مغزه‌های رسوبی برداشت شده از بستر تالاب‌ها و دریاچه‌ها می‌باشد. دریاچه‌ها و پلایاها در انتهای حوضه‌های رسوبی واقع شده‌اند و به عنوان محیط‌های حساس به تغییرات شناخته می‌شوند (عبدی و همکاران، ۲۰۱۸، ۲). از آنجا که تغییر اقلیم در صورت افزایش درجه حرارت و شوری، می‌تواند بر ترکیب کانی‌شناسی رسوبات رسی یک منطقه تأثیر فراوانی داشته باشد، از دیرباز کانی‌شناسی رسوبات دریاچه‌ها شاخص خوبی برای تعیین شوری آب‌های گذشته و تغییرات هیدرولوژیکی مدنظر قرار گرفته است (کواک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، ۲) با توجه به تغییرات رطوبت در طول دوره هولوسن میانی و پایانی (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ۵۱)، رسوبات پلایا دستخوش تغییرات زیادی شده‌اند که شناخت کانی‌ها و منشاء رسوبات این مناطق منجر به ارائه داده‌های دقیقی از تغییرات در دوران گذشته شده است ترکیب رسوبات آواری عمدتاً تحت تأثیر ماهیت سنگ مادر و فرایندهای رسوبی در طول حمل و نقل در درون حوضه رسوبی قرار دارد. از این رو تغییرات مکانی و زمانی در طول ته نشین شدن را می‌توان با مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات درک کرد و مطالعات متعدد آن‌ها وسیله‌ای برای درک منشا رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد (دگرگوریو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳، ۹۰۹). بررسی خصوصیات کانی‌ها و تغییر آن‌ها برای فهم ماهیت رسوب ضروری می‌باشد. کانی‌های موجود در رسوبات می‌تواند برای نحوه تشکیل رسوبات (گراهام و آگرین<sup>۳</sup>، ۲۰۱۰، ۴۲۰)، مدیریت صحیح زمین‌های خشک و مرطوب (آگرین<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۹۹) و بازسازی شرایط محیط‌های قدیمی (کواک<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، ۶) مورد استفاده قرار گیرند. کانی‌های رسی در محیط‌های گرم و مرطوب با تجزیه شیمیایی بالا، جهت شناسایی تغییرات آب و هوایی و در محیط‌های سرد بعنوان عامل شناسایی منشا رسوبات، بسیار کارآمد است (اپتیز<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، ۲۰۵؛ بریزت<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸، ۱۱۴). با تغییر در میزان و نوع هوازدگی، تغییر منشا رسوبات در اثر تغییرات اقلیمی و یا تغییر در سطح تراز دریاچه‌ها، کانی‌های رسی به عنوان عامل حساس عمل کرده و این تغییرات را ثبت می‌کند (سانگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۷، ۲۳). نوع کانی‌های رسی به نوع سنگ منشا، شرایط محیط هوازدگی و فرایندهای فعال اقلیمی حاکم بر منطقه و رسوب‌گذاری وابسته است (مونیر<sup>۹</sup>، ۲۰۰۵، ۲۴۶؛ فیقل<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۷، ۱۵۴). همچنین شدت هوازدگی و تغییرات در طول زمان رسوب‌گذاری از عوامل موثر در نوع کانی‌های رسی می‌باشد. بطور کلی در عرض‌های جغرافیایی یکسان تغییر در پراکندگی کانی‌های رسی در مغزه‌ها، به عنوان تغییر در شرایط اقلیمی غالب در مناطق قاره‌ای (آکاریش و القهاری<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۱، ۳۰۸۴؛ ساویج<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۳، ۳۹۵) و تغییر متوالی در سطح آب تفسیر می‌شود. البته باید در نظر داشت ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی و تشکیل کانی‌های رسی همیشه صحیح نیست (فیقل، ۲۰۰۷، ۱۶۹). در بازسازی

۱. Kwak

۲. Gregorio

۳. Graham and O'Green

۴. O'Geen

۵. Kwak

۶. Opitz

۷. Brisset

۸. Song

۹. Meunier

۱۰. Fagel

۱۱. Akarish and El-Gohary

۱۲. Savage

اقلیم دیرینه براساس کانی‌شناسی رس‌ها، فرضیاتی مانند وجود منشا آواری، عدم تحمل دگرسانی‌های دیاژنتیک، مشخص بودن ناحیه منشا و محصولات ثانویه حاصل از هوازدگی قاره‌ای را در نظر گرفت (فیقل، ۲۰۰۷، ۱۷۰). وجود منشا‌های متعدد و فرایندهای حمل متفاوت، سبب دشوار شدن شناسایی ارتباط تغییرات کانی‌های رسی با شاخص‌های اقلیمی می‌شود. لذا تفسیر تغییرات اقلیم گذشته بر پایه کانی‌شناسی رس ممکن است دچار چالش‌های بسیار پیچیده و مشکل باشد (سیری، ۲۰۰۰، ۲۱۸؛ فیقل، ۲۰۰۷، ۱۸۲؛ جاملی<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹، ۴۵۱).

### مبانی نظری

در سرزمین خشک و نیمه‌خشک ایران که بدلیل ویژگی‌های اقلیمی میزان بارش سالانه نسبتاً پایین است، دریاچه‌های شور متعددی وجود دارند که از نقطه نظر زیست‌محیطی، زمین‌شناسی، آب و هوای دیرینه، جغرافیای دیرینه و اکولوژی دیرین از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردارند (داودی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ۶۶). مطالعات متعددی به منظور شناسایی نوع کانی‌های رسی، تعیین منشأ آنها و بررسی آب و هوای دیرینه انجام شده است. از مهم‌ترین و جدیدترین مطالعات انجام شده می‌توان به مطالعات لیو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص کانی‌های رسی موجود در رسوبات هولوسن منطقه همودو استان ژجیانگ<sup>۳</sup> چین اشاره کرد که نتایج بررسی آنها حاکی از غالب بودن کانی ایلیت (حدود ۵۷ درصد)، اسمکتیت (حدود ۲۶ درصد) و مقدار کمی کائولینیت و کلریت می‌باشد. منشا احتمالی کائولینیت و کلریت لس‌های بادی، منشا اسمکتیت سنگ‌های آتشفشانی و منشا ایلیت افزایش مقدار رطوبت و بارندگی در اثر تغییرات اقلیمی معرفی شده است. مطالعه دیگری در راستای بررسی تکامل هیدروگرافی دریای آلبوران<sup>۴</sup> (مدیترانه غربی) با مقایسه برداشت‌های مختلف با استفاده از چندین مولفه توسط کاتال<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۹) انجام شده است. نتیجه بررسی‌ها به ارتباط تنگاتنگ گردش آتلانتیک شمالی با الگوهای آب‌های سطحی در مدیترانه اشاره شده است و به نقش مهم این ارتباط در کنترل اقلیم هولوسن در این منطقه تاکید شده است. در مطالعه دیانتو<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۹) جهت بازسازی اقلیم دیرینه در دریاچه سنتاروم<sup>۷</sup>، غرب کالیمانتان<sup>۸</sup> اندونزی با استفاده از کانی‌های رسی در یک مغزه ۷۰ سانتی متری حاکی از وجود شرایط اقلیمی سرد و خشک و سپس گرم و مرطوب است. بازسازی شدت هوازدگی شیمیایی در حوضه رودخانه مکونگ چین در طول آخرین دوره یخچالی مطالعه‌ای است که توسط جیواران گورانکول<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۹) انجام شده است. در این مطالعه با استفاده از کانی‌های رسی، شدت هوازدگی شیمیایی را در طول ۳۰ هزار سال گذشته، قابل ملاحظه توصیف کرده‌اند و آنرا تحت کنترل موسمی‌های تابستانه شرق آسیا معرفی نموده‌اند. در ایران نیز مطالعاتی هر چند محدود در خصوص کانی‌های رسی و تغییرات آب و هوایی انجام گرفته است. از جمله مهم‌ترین آن‌ها، مطالعه خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) در خصوص تغییرات کانی‌شناسی جنوب ایران در طول مزوزوئیک و سنوزوئیک است. طبق این مطالعات از کرتاسه به بعد آب و هوای گرم و مرطوب به آب و هوای فصلی و سپس در پالئوسن به آب و هوای خشک‌تر، تغییر یافته است که احتمالاً تا امروز ادامه داشته است. از دیگر مطالعات انجام گرفته می‌توان به مطالعه رضاپور و فلاحی (۲۰۱۷) با موضوع تاثیر عملیات متناوب زراعی بر تغییر شکل‌های پتاسیم و کانی‌های رسی تحت شرایط اقلیم مدیترانه‌ای اشاره کرد. نتیجه این پژوهش نشان داد که در خاک‌های زراعی، کلریت دچار تغییراتی می‌شود و در اراضی غیر زراعی با ظهور کانی مخلوط نامنظم کلریت-ورمیکولیت همراه است. عبدی و

1. Chamley

2. Liu

3. Zhejiang

4. Alboran Sea

5. Català

6. Dianto

7. Lake Sentarum

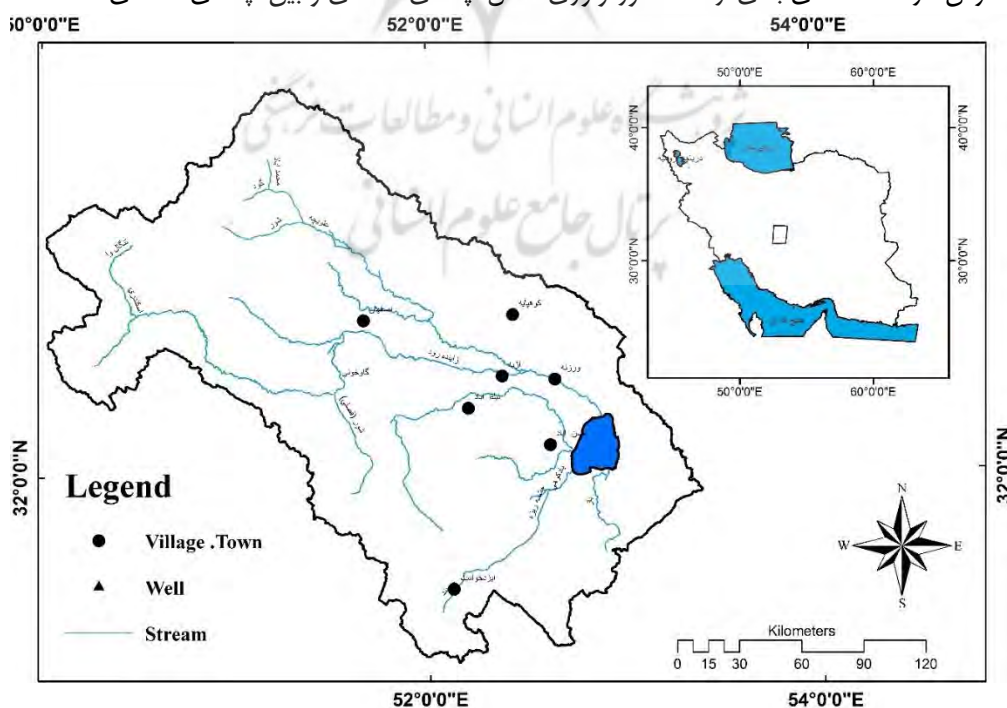
8. Kalimantan

9. Jiwaringrueangkul

همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه رسوب‌شناسی، ژئوشیمی‌رسوبی و کانی‌شناسی رس‌ها در پلایای میقان با هدف بازسازی اقلیم کواترنری پایانی پرداختند. رسوبات بستر پلایای میقان متشکل از رسوبات آواری، تبخیری می‌باشد که از حاشیه به سمت مرکز پلایا فراوانی کلسیت کاهشی، ژپس و هالیت افزایشی گزارش شده است که این شرایط را مرتبط با تغییرات آب و هوا، تغییرات سطح تراز آب و شوری دانسته‌اند.

تالاب گاوخونی یکی از ۱۳۲۸ تالاب جهان است که در کنوانسیون بین‌المللی ۱۹۷۵ رامسر به عنوان تالاب بین‌المللی شناخته شده است. پلایای گاوخونی به عنوان قسمتی از حوضه فلات مرکزی ایران علیرغم دارا بودن ویژگی‌های خشک و کویری در قسمت‌های گسترده‌ای از دشت‌های آن به علت موقعیت خاص جغرافیایی می‌تواند از رطوبت‌های زاگرس، بهره‌مند شود.

این پلایا بین عرض جغرافیایی  $33^{\circ}00'$  تا  $33^{\circ}23'$  شمالی و طول جغرافیایی  $43^{\circ}52'$  تا  $49^{\circ}52'$  شرقی، در فاصله ۱۴۰ کیلومتری جنوب شرقی اصفهان و ۳۰ کیلومتری شهر تاریخی ورزنه قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۷۰ متر می‌باشد و حداکثر طول آن در حدود ۵۰ کیلومتر و حداکثر عرض آن ۲۵ کیلومتر است. پلایای گاوخونی در انتهای‌ترین قسمت حوضه آبریز زاینده رود قرار دارد (شکل ۱). عمق آب در سال‌های پربابی حدود یک متر و براساس مقدار آب ورودی به تالاب در طول سال‌های مختلف تغییر می‌کند. حوضه آبریز پلایا از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های رسوبی در غرب، جنوب غرب و شمال غرب، سنگ آذرین (عمدتاً ولکانیک) در شرق و شمال شرق و سنگ‌های دگرگونی در شمال غرب است. منطقه مورد مطالعه متشکل از سه محیط اصلی مخروطه افکنه، پلایا گاوخونی و ماسه‌های بادی می‌باشد. پلایای گاوخونی توسط رسوبات مخروط افکنه‌ای در شمال، جنوب، شرق و همچنین ماسه‌های بادی در غرب، احاطه می‌گردد. این پلایا از دو محیط رسوبی دلتایی و دریاچه‌ای غیر دائمی تشکیل شده است. دلتای زاینده رود از تعدادی کانال‌های انشعابی کم‌عمق و بین‌کانالی تشکیل شده و شامل رخساره‌های گل خاکستری تا سیاه، گل قهوه‌ای تا زرد و ماسه هستند. ماسه‌های بادی با روند شمالی و جنوبی به طول ۴۵ کیلومتر و وسعت حدود ۱۲۵ کیلومتر مربع به صورت یک ارگ بزرگ در غرب پلایا، گسترش دارند. ماسه‌های بادی از لحاظ مورفولوژی شامل تپه‌های ماسه‌ای و بین تپه‌های ماسه‌ای است.



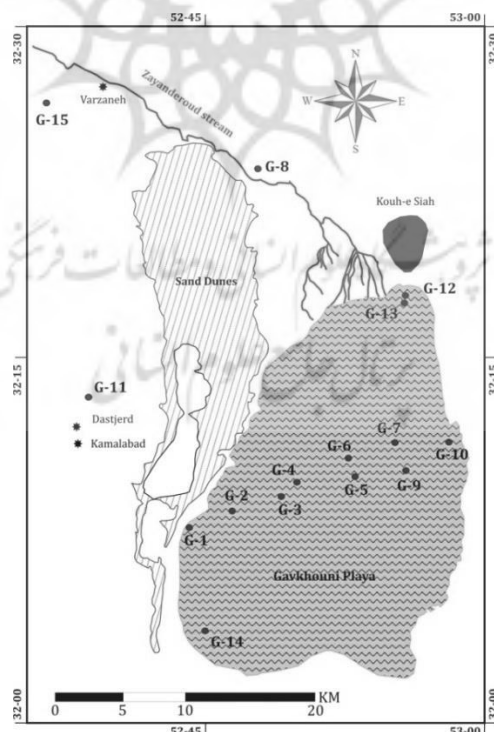
شکل ۱: موقعیت پلایای گاوخونی و حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود

با توجه به اینکه تاکنون مطالعات دقیق و جدی بر روی کانی‌شناسی رس‌ها در پلایای گاوخونی انجام نشده است و از آن جا که برای تشکیل کانی‌ها به شرایط اقلیمی و فیزیکی-شیمیایی ویژه‌ای نیاز است، با اطلاع از نوع کانی‌ها می‌توان شرایط اقلیمی و جغرافیایی گذشته را بازسازی نمود. لذا تحقیق حاضر جهت شناسایی و منشأ یابی کانی‌های رسی موجود در رسوبات کواترنر بستر پلایای گاوخونی و مکانیسم تشکیل آنها و همچنین بررسی اقلیم اواخر هولوسن منطقه، انجام گرفت. با توجه به گستردگی رسوبات کواترنری در ایران و از جمله در منطقه گاوخونی، مطالعه این رسوبات در راستای مدیریت، بهره‌برداری بهینه و پیش‌بینی رفتار آنها در آینده بسیار ضروری است. مطالعه کانی‌های رسی موجود در این رسوبات می‌تواند به شناخت دقیق‌تر و بازخوانی تاریخ گذشته آنها کمک شایانی نموده و جهت تعیین شدت فرآیندهای هوازگی و همچنین بررسی تغییرات احتمالی اقلیم، مورد استفاده قرار گیرد.

### منطقه مورد مطالعه

#### روش تحقیق

طی مطالعات میدانی صورت گرفته در فصل زمستان (بهمن و اسفند ۱۳۹۶، ۱۳۹۸) ۱۶ مغزه رسوبی دست نخورده از رسوبات بستر پلایای گاوخونی برداشت شد (شکل ۲). مغزه‌های برداشت شده دارای عمق متوسط ۷ متر و بیشینه عمق ۱۱/۵ متر می‌باشد (جدول ۱). مغزه‌ها توسط یک عدد مغزه‌گیر دستی تهیه و مکان دقیق مغزه‌ها توسط GPS ثبت گردید. توصیف مغزه‌ها براساس بافت، ساختمان رسوبی و ویژگی‌های لایه‌بندی، رنگ، وجود بقایای گیاهی و جانوری، نوع بلورهای تیخیری و درجه نسبی سخت‌شدگی رسوبات انجام شد. از مغزه‌های برداشت شده عکس تهیه گردید و در نهایت ستون چینه‌شناسی آنها رسم گردید.

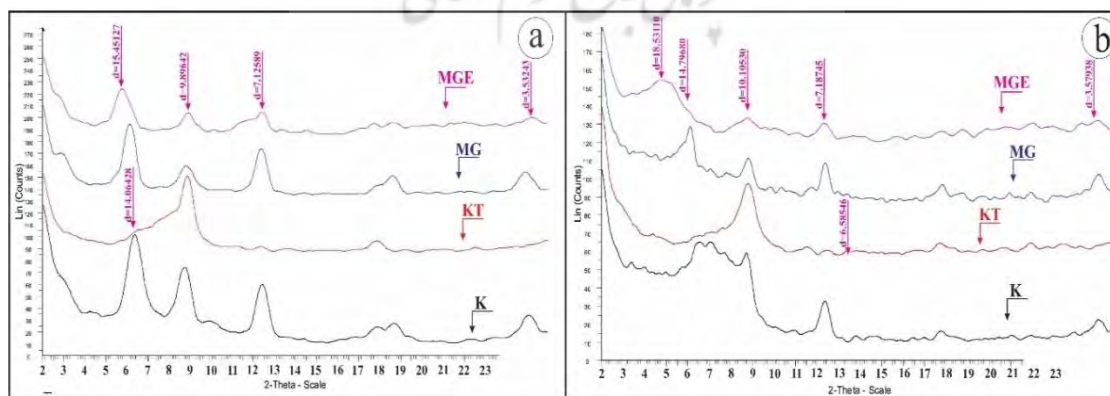


شکل ۲: موقعیت مغزه‌های برداشت شده از رسوبات بستر پلایا و زمین‌های اطراف

جدول ۱: موقعیت و مشخصات مغزه‌های برداشت شده

شماره مغزه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عمق (سانتی متر)	تعداد نمونه
G-1	664192	3552448	1475	530	13
G-2	667592	3553190	1468	602	21
G-3	671254	3555191	1468	150	6
G-4	672480	3556275	1466	820	21
G-5	675824	355741	1469	190	4
G-6	675827	3557584	1469	1058	20
G-7	679643	3558978	1473	170	8
G-8	667911	3581780	1475	478	2
G-9	679776	3555799	1466	1006	14
G-10	684368	3559091	1465	362	0
G-11	655008	3563795	1480	1022	17
G-12	679815	3572926	1468	80	4
G-13	679804	3572839	1467	1130	35
G-14	664895	3544801	1472	550	16
G-15	645532	3581518	1490	490	8
G-16	613850	3578103	1565	20	1

نمونه‌برداری از مغزه‌های مختلف با تغییرات رخساره‌ای و وجود فاصله منطقی از نمونه قبلی انجام گرفت. نمونه‌های رسوبی برداشت شده جهت آماده‌سازی و انجام آنالیز کانی‌شناسی به آزمایشگاه منتقل شد. نیمی از نمونه‌ها جهت انجام آزمایشات و نیمی دیگر جهت بایگانی مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۹۰ نمونه رسوبی از ۹ مغزه برداشت شده جهت آنالیز کانی‌شناسی رسی به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شد. آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیز پراش اشعه ایکس از طریق چهار تیمار اشباع با پتاسیم، اشباع پتاسیم بعد از حرارت تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، اشباع منیزیم و اشباع منیزیم پس از تیمار اتیلن گلیکول به روش هاردی و تاکر<sup>۱</sup> (۱۹۸۸) انجام شده است. لازم به ذکر است که برای تعیین درصد هر کدام از کانی‌ها (محاسبه نیمه کمی)، از روش مثلث‌بندی (مور و رینالدز<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹، ۲۳۶) که مساحت زیر پیک‌ها را محاسبه و درصدبندی می‌کند، استفاده شده است. اجزاء تبخیری و کربناته و نیز اکسیدهای آهن و مواد آلی از نمونه جدا گردید. نمونه‌ها توسط دستگاه Siemens XRD diffraktometer D5000 (ولتاژ ۴۰ کیلوولت، شدت جریان ۴۰ میلی‌آمپر و لامپ مس) مورد آنالیز قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۳: نمونه‌ای از نمودار پراش اشعه ایکس: a، نمونه ۴۱۵-۴۲۵ از مغزه G-13 و b، نمونه ۸۵۰-۸۴۰ از مغزه G-11

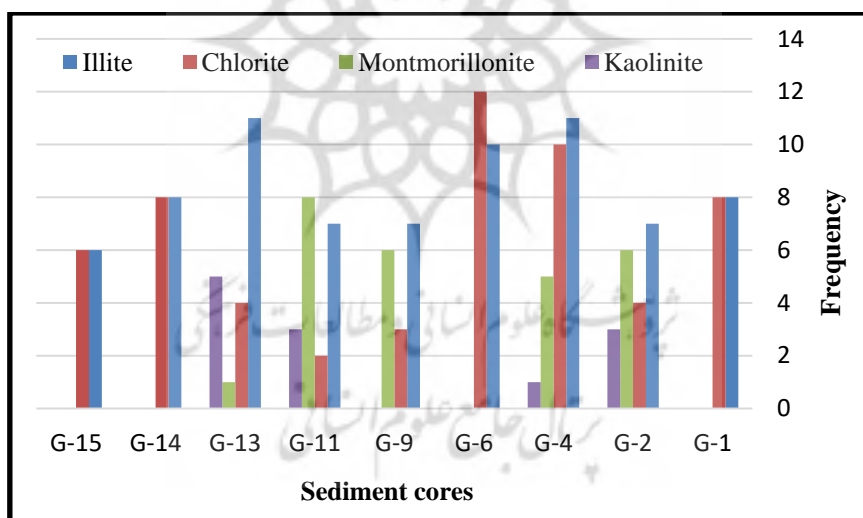
<sup>۱</sup>. Hardiy and Tulker

<sup>۲</sup>. Moor and Reynolds

جهت استخراج سن توالی‌های رسوبی بستر پلایای گاوخونی از مواد آلی و فقط از نمونه‌های بالک استفاده شد. تعداد سه نمونه در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مرمره (موسسه مطالعات علوم زمین ودریا) به روش C14-AMS تعیین سن و کالیبره کردن سن نمونه‌ها با نرم افزار OxCal (برونک رامسی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳، ۷۲۶) با محدوده خطای ۲ سیگما و با ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد انجام گرفت.

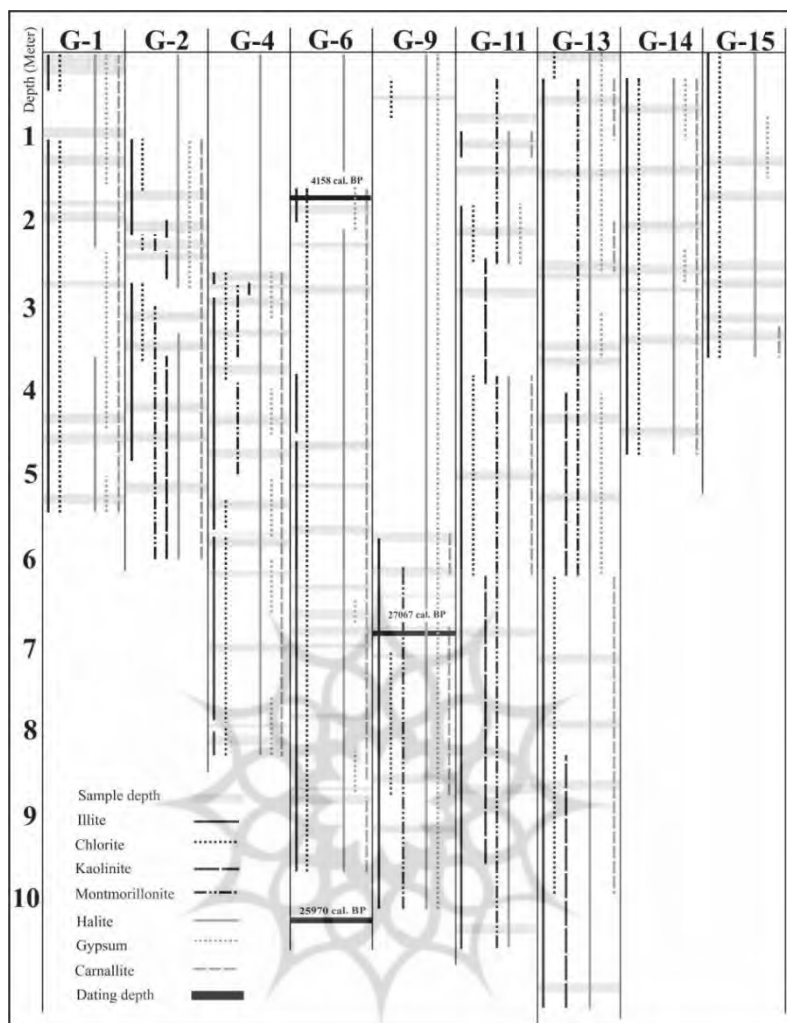
### بحث و یافته‌ها

رخساره‌های شناسایی شده در رسوبات بستر پلایای گاوخونی غالباً دارای رس، گل، ماسه، بقایای گیاهی و رسوبات تبخیری (ژیپس و نمک) می‌باشد که با توجه به تغییرات محیط رسوبی در توالی رسوبات تغییر داشته‌اند. تغییر در اندازه ذرات با توجه به تغییر در فرآیند، انرژی محیط و میزان ورودی رودخانه‌ها است و تغییرات رنگ رسوبات با توجه به شرایط رسوبگذاری، حضور ماده آلی، میزان pH، تغییرات شوری و دما و وقوع خشکسالی‌ها، در طول مغزه‌ها می‌باشد. در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه در مجموع پنج محیط رسوبی شامل رسوبات بادی، رودخانه‌ای، دلتایی، دریاچه‌ای و پلایایی شناسایی شد. نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس نشان‌دهنده حضور کانی‌های کلسیت، کوارتز، هالیت، ژیپس، فلدسپار، دولومیت و کانی‌های رسی کلریت، ایلیت، کائولینیت، مونت موریلونیت می‌باشد که در مغزه‌های مختلف قابل شناسایی می‌باشد. کانی‌های ایلیت و کلریت در مغزه‌های حاشیه‌ای و خارج از محدوده فعلی پلایا و کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت و مونت‌موریلونیت در مغزه‌های داخل حوضه پلایای گاوخونی شناسایی شد (شکل ۴ و ۵).



شکل ۴: فراوانی نسبی کانی‌های رسی در مغزه‌های آنالیز شده





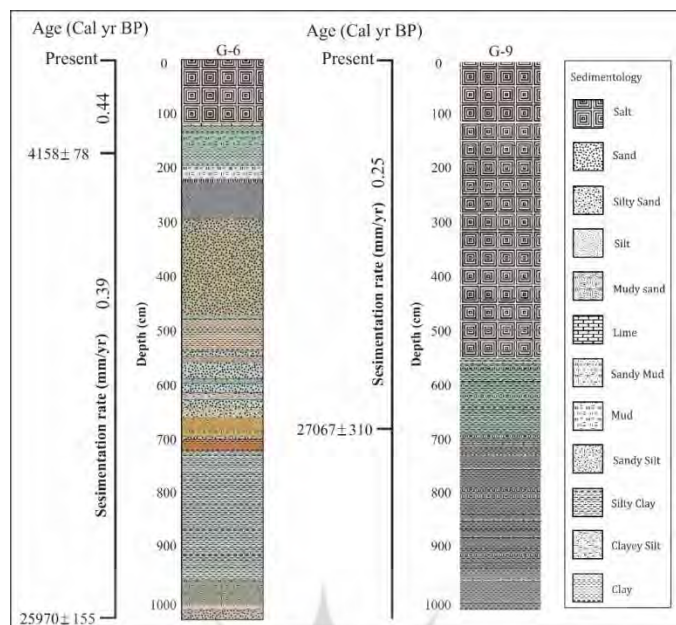
شکل ۵: نوع کانی‌های رسی و تبخیری در مغزه‌های برداشت شده از پلایای گاوخونی

با توجه به نتایج سن‌سنجی (جدول ۲)، نرخ متوسط رسوبگذاری در تالاب گاوخونی در قسمت‌های مختلف متفاوت است. بگونه‌ای که این میزان برای مغزه‌های مرکزی ۰/۴ میلی متر در سال و در مغزه‌های شرقی تر ۰/۲۵ میلی متر در سال می‌باشد. نرخ رسوبگذاری برای مغزه G-6 از سطح تا عمق ۱۸۵ سانتی متری حدود ۰/۴۴ میلی متر که از نرخ میانگین بالاتر می‌باشد و برای عمق ۱۸۵ تا ۱۰۳۵ سانتی متری حدود ۰/۳۹ میلی متر در سال می‌باشد (شکل ۶). نرخ رسوبگذاری در مغزه‌های حاشیه‌ای نسبت به مغزه‌های مرکزی و شرقی بیشتر است که احتمالاً بدلیل تاثیر نرخ بالای ماسه‌های بادی غرب پلایای گاوخونی بوده است.

جدول ۲: داده‌های سن رادیوکربن و سن کالیبره شده رسوبات بستر پلایای گاوخونی

Core	Sample depth(cm)	Laboratory code	Age <sup>14</sup> C (yr BP)	Calibrated age (yr cal BP)			Date material	Sedimentation Rate(mm/yr)
				Min age	Mean age	Max age		
G-6	185	<a href="#">TÜBITAK-0733</a>	3764±27	4080	4158	4236	Organic material	0.44
G-9	680	<a href="#">TÜBITAK-0734</a>	22737±83	26757	27067	27377	Organic material	0.25
G-6	1035	<a href="#">TÜBITAK-0735</a>	21727±78	25815	25970	26125	Organic material	0.39





شکل ۶: محل نمونه های سن سنجی شده، نرخ متوسط رسوبگذاری در مغزه های G-6 و G-9 در پلایای گاوخونی

### تجزیه و تحلیل منشاء کانی های رسی

یک کانی رسی به عنوان یک کانی ثانویه در اثر هوازدگی سنگ مادر می باشد (لیو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹، ۹). کانی های رسی آواری عمدتاً در اثر هوازدگی شیمیایی از سنگ های آلومینوسیلیکات حاصل می شود. ویژگی های این رس ها بسیار متفاوت بوده و به ساختمان و ترکیب آن ها ارتباط دارد. نوع رسی که در سنگ های رسوبی، طی مراحل آغازین هوازدگی به وفور یافت می شود به ترکیب سنگ مادر بستگی دارد. اما در مراحل پایانی این امر به طور کامل به آب و هوا ارتباط پیدا می کند (کتزر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۳، ۵۶). مهم ترین کانی های رسی معمول در دریاچه ها اسمکتیت و ایلیت هستند اما کائولینیت و کلریت نیز در این مناطق رایج هستند (عبدی و همکاران، ۲۰۱۸، ۴). رس های آواری در رسوبات دریاها و دریاچه ها شناسایی شرایط هوازدگی (فیقل، ۲۰۰۷)، منشا و فرایندهای انتقال را برای ما فراهم می نمایند (هیندشو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸، ۴۶؛ مکالی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸، ۴). بسیاری از پژوهش ها در مورد کانی شناسی محیط های دریایی عهد حاضر نشان می دهد که معمولاً کانی های رسی دارای منشا قاره ای هستند (ساویج و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۸۷). باید در نظر داشت تمایز رس های اتوزنیک از رس های آواری بسیار مشکل است (گلن و فیلیپلی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۷، ۴). عدم وجود کانی های رسی خاص محیط های دیاژنزی مانند سپیولیت، پالیگورسکیت و کورنریت نشان دهنده عدم تشکیل کانی های رسی اتوزن در محیط رسوبی قلیایی مانند پلایای گاوخونی می باشد (چاملی، ۱۹۸۹، ۱۶۱). ایلیت معمولاً شرایط آب و هوایی سرد و خشک تا معتدل همراه با هوازدگی شیمیایی و آب شویی بسیار پایین را در ناحیه منشا منعکس می کند (اولویرا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۰۱؛ فیقل، ۲۰۰۷، ۱۵۶)، ایلیت از کانی های رسی بسیار حساس به تغییرات آب و هوایی کوتاه مدت است (لامی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۰، ۱۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۹، ۱۱). شستشوی مداوم K<sup>+</sup> از شبکه کریستالی ایلیت منجر به تبدیل از ایلیت به اسمکتیت خواهد شد

<sup>۱</sup>. Liu

<sup>۲</sup>. Ketzer

<sup>۳</sup>. Hindshaw

<sup>۴</sup>. Maccali

<sup>۵</sup>. Glenn and Filippelli

<sup>۶</sup>. Oliveira

<sup>۷</sup>. Lamy

و فرآیند هوازدگی کامل باعث تبدیل اسمکتیت به کائولینیت می‌شود (چاملی، ۱۹۸۹، ۱۷۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۹، ۱۲). کلریت یک جز گسترده از سنگ‌های رسوبی آواری، سنگ‌های آذرین، سنگ‌های دگرگونی درجه پایین و یک محصول ثانویه هوازدگی از سایر کانی‌های رسی بخصوص ایلیت است. کلریت تا حدودی به‌طور یکنواخت در سطح قاره‌ها پراکنده شده‌اند (مارتینر-رویز<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۹، ۳۲؛ فیقل، ۲۰۰۷، ۱۴۹). کلریت در طی مراحل با آب‌شویی ضعیف در خاک‌های معتدل تشکیل می‌شود ولی به راحتی اکسید می‌شود. افزایش میزان کلریت حاکی از شرایط آب و هوایی خشک است (واندراوورت<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰، ۸۷). با این حال، کلریت به خودی خود نمی‌تواند به عنوان یک شاخص آب و هوایی بطور مستقل مورد استفاده قرار گیرد. کلریت در خاک‌های مناطق خشک، در عرض جغرافیایی بالا و پایین تشکیل می‌شود (اولویرا و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۰۸). کائولینیت در اثر هوازدگی شیمیایی آلومینوسیلیکات‌ها به‌ویژه فلدسپارها تشکیل می‌شود (مونیر، ۲۰۰۵، ۳۷۵؛ گارزانتی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، ۱۱۸). کائولینیت در شرایط هوازدگی و آب‌شویی شدید، در عرض‌های جغرافیایی پایین (استوایی) و معمولاً در شرایط آب و هوای گرم و مرطوب تشکیل می‌شود (تاکر<sup>۴</sup>، ۱۹۹۴، ۱۷۹؛ تانگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۰، ۳۳۳؛ برگایا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۶، ۷۴۱). این کانی از پایدارترین رس‌ها به حساب می‌آید. مونت‌موریلونیت از هوازدگی ترکیبات بازیک و سنگ‌های ولکانیکی در محیط‌های با آبشویی متوسط و تجزیه سایر کانی‌های رسی مانند ایلیت تشکیل می‌شود (برگایا و همکاران، ۲۰۰۶، ۷۴۲). در رسوبات مناطق معتدل با میزان آبشویی متوسط و زهکشی خوب فراوان یافت می‌شود (نیکولز<sup>۷</sup>، ۲۰۰۹، ۲۸۴).

### کانی‌های رسی در محیط‌های رسوبی

کانی‌های رسی ۲۰ تا بیش از ۶۰ درصد فراوانی توالی رسوبات بستر پلایای گاوخونی را به خود اختصاص می‌دهند. در واقع کانی‌های رسی در غالب اعماق مغزه‌ها حضور دارند و حتی در افق‌های خاصی بیشترین فراوانی اجزاء رسوبی را تشکیل می‌دهند (شکل ۵). کانی‌های رسی معمولاً از طریق رودخانه‌ها بصورت بار معلق وارد دریاچه‌ها می‌شوند. ته‌نشینی در محیط بسیار آرام منجر به تشکیل لامیناسیون بسیار ظریف با مخلوط شدگی خوب در رسوبات می‌گردد (فیقل، ۲۰۰۷، ۱۶۹؛ کای<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴، ۱۱۳؛ لیندر<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۸، ۶). تغییر در انرژی جریان‌های رودخانه‌ای، شدت و مدت و جهت وزش باد بر سطح دریاچه، اختلاف چگالی آب رودخانه و آب دریاچه و تغییرات سطح تراز آب دریاچه از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده تغییرات فراوانی رسوبات آواری و کانی‌های رسی در طول زمان می‌باشد (فیقل، ۲۰۰۷، ۱۵۴). با توجه به نوع رخساره‌ها و پارامترهای رسوب‌شناسی و ویژگی‌های بافتی رسوبات، در محل مغزه‌های برداشت شده رسوبگذاری غالباً از ذرات معلق صورت گرفته است. کانی‌های رسی اکثر ذرات کلوتیدی را تشکیل می‌دهند و مواد معلق بسیار با دوام را ایجاد می‌کنند. در این بین ذرات بزرگ‌تر مانند کلریت و ایلیت سریع‌تر رسوب می‌کنند. کائولینیت یک بار معلق در اندازه متوسط را ایجاد می‌کند. بنابراین یک نوع غربال‌گری به وقوع می‌پیوندد ذرات ریزتر به مناطق دور از ساحل حمل می‌شوند و کانی‌های رسی درشت‌تر در مناطق نزدیک به ساحل رسوب می‌کنند (مونیر، ۲۰۰۵، ۲۰۴). از طرفی رسوب‌گذاری کانی‌های رسی ارتباط نزدیک و مهمی با فلوکوله شدن در مصب رودخانه‌ها دارد (لیو و همکاران، ۲۰۱۹، ۹). در مناطق دور از ساحل فلوکوله شدن رسوبات رسی کم و هیدرودینامیک ضعیف می‌شود. لذا کلریت، ایلیت می‌توانند به صورت تدریجی نهشته شوند

<sup>۱</sup>. Martinez-Ruiz

<sup>۲</sup>. Vanderaverroet

<sup>۳</sup>. Garzanti

<sup>۴</sup>. Tucker

<sup>۵</sup>. Tang

<sup>۶</sup>. Bergaya

<sup>۷</sup>. Nichols

<sup>۸</sup>. Cai

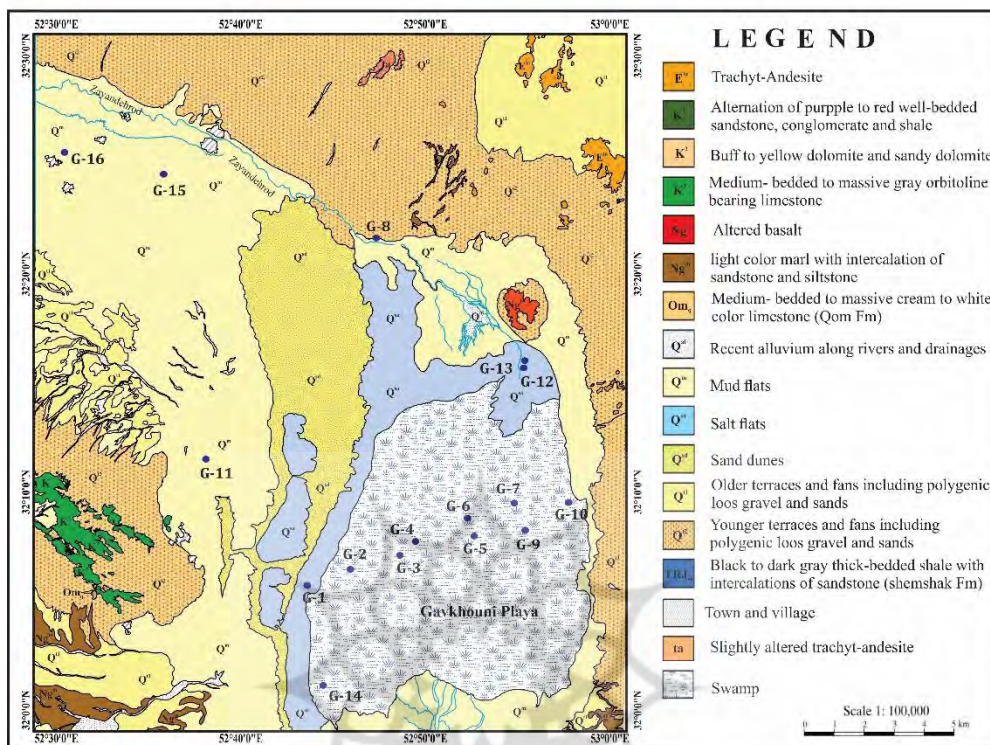
<sup>۹</sup>. Linder

(دانگ و سانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹، ۱۲۳). همچنین کانی‌های رسی می‌توانند به عنوان عامل حساس به میزان شوری محیط رسوبگذاری، در محیط‌های قدیمی مورد استفاده قرار گیرد. در محیط با میزان شوری پایین کانی کائولینیت تمایل دارد، رسوب نماید. لذا فراوانی کائولینیت در مصب رودخانه‌ها ممکن است در ارتباط با میزان شوری باشد. در حالی که ایلیت در یک محیط با میزان بالای شوری و غالباً در مناطق دور از مصب رودخانه نهشته می‌شود (مونیر، ۲۰۰۵، ۲۰۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۹، ۹). بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت در صورت وجود شرایط ثابت در منشاء، ویژگی‌های شیمیایی و هیدرودینامیک آب در منطقه رسوبگذاری ممکن است مستقیماً ترکیب و توزیع کانی‌های رسی را تحت تاثیر قرار دهد (لیو و همکاران، ۲۰۱۹، ۱۰). طبق نتایج کانی‌شناسی، کوارتز، کلسیت، فلدسپار، دولومیت و کانی‌های رسی و تبخیری در رسوبات بستر پلایای گاوخونی شناسایی شده‌اند. در این بین کوارتز، کانی‌های کربناته و فلدسپار به عنوان درشت‌ترین و فراوان‌ترین ذرات آواری موجود در رسوبات می‌باشند. غالب رسوبات و کانی‌های ذکر شده از شمال دریاچه توسط اصلی‌ترین رودخانه حوضه آبریز (زاینده رود) وارد پلایا شده است. بخشی دیگر نیز رسوبات بادی می‌باشد که غالباً از بخش غربی وارد پلایا شده و گسترش یافته‌اند. با توجه به تغییرات رسوب‌شناسی و پارامترهای آماری رسوبی، رسوبات بستر پلایای گاوخونی دارای تغییرات زیادی در نوع ترکیب دارد. این مسئله می‌تواند دلیل وجود فرایندهای متعدد حمل رسوبات و گستردگی محدوده منشا رسوبات در حوضه آبریز باشد. در رسوبات مغزه‌های برداشت‌شده از بستر پلایای گاوخونی به ترتیب فراوانی کانی‌های ایلیت، کلریت، مونت‌موریلونیت و کائولینیت در نتایج آنالیز کانی‌شناسی رس‌ها دیده می‌شود (شکل ۴). بررسی توالی‌های رسوبی در مغزه‌های برداشت شده نشان دهنده افزایش رسوبات دانه ریز (کانی‌های رسی) از حاشیه پلایا به سمت بخش‌های مرکزی است. از عوامل اصلی حمل رسوبات دانه‌ریز از شمال به مرکز و بخش شرقی پلایای گاوخونی وجود آب شور در پلایا و ایجاد جریان‌های با چگالی بالا می‌باشد. لذا کانی‌های رسی بدلیل اندازه کوچک نسبت به سایر رسوبات آواری آسانتر به مناطق مرکزی هدایت و نهشته می‌شوند (فیقل، ۲۰۰۷، ۱۵۸). شباهت کانی‌های رسی در بار رسوبی رودخانه زاینده‌رود و رسوبات بستر پلایا این مطالب را تایید می‌کند. از آنجایی که زاینده رود، رودخانه اصلی تامین کننده کانی‌های رسی آواری است و با توجه به رخساره‌های مختلف در مغزه‌های برداشت شده، می‌توان دلیل کم شدن حضور کانی‌های رسی از شمال به جنوب را این‌گونه توجیه نمود. یکی از دلایل حضور کانی‌های رسی در بخش‌های مرکزی (علیرغم فاصله نسبتاً زیاد با مصب) به همراه کانی‌های تبخیری همچون ژپس و انیدریت را می‌توان به شوری بالای دریاچه مرتبط دانست. همانگونه که انتظار می‌رود در بخش‌های شمالی و مرکزی بدلیل نزدیکی به مصب رودخانه و بالا بودن بار رسوبی، گسترش کانی‌های رسی بیشتر از سایر نقاط می‌باشد و به سمت قسمت‌های جنوبی و غربی دریاچه، رسوبات دانه درشت بادی جایگزین رخساره‌های دانه ریز می‌گردد. بطور کلی از حاشیه پلایا به سمت بخش مرکزی و شرقی، کانی‌های تبخیری روند افزایشی پیدا می‌کنند. با مقایسه دو مغزه G-1 و G-9 می‌توان به این نتیجه رسید که با حرکت از غرب به شرق و مرکز پلایا، میزان و حجم نهشته‌های تبخیری بیشتر و ضخیم تر می‌شود. همچنین این افزایش از عمق به سطح در مغزه‌های برداشت شده از بستر پلایا مشهود است. لازم به ذکر است تغییر در فراوانی کانی‌های رسی در مغزه‌های برداشت شده نسبت به عمق روند خاصی را نشان نمی‌دهند. از آنجایی که در حدود ۹۰ درصد کانی‌های رسی موجود در حوضه‌های آبی جهان دارای منشا آواری می‌باشند (ولد<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵؛ فیقل، ۲۰۰۷، ۱۴۲)، لذا به احتمال زیاد در حوضه گاوخونی نیز اکثر کانی‌های رسی شناسایی شده دارای منشا آواری می‌باشند که می‌تواند بیانگر منشا رسوب و اقلیم محیط باشد. برای تعیین منشأ کانی‌های رسی موجود در رسوبات حوضه‌های آبریز، شناسایی کانی‌های رسی موجود در برونزدهای سنگی اطراف حوضه امری ضروری است (لیو و همکاران، ۲۰۱۹، ۸).

<sup>۱</sup>. Dong and Song

<sup>۲</sup>. Velde

آب و هوای مرطوب فرسایش یافته و از طریق رودخانه‌ها و آبراهه‌ها وارد پلایا شده‌اند (پورعلی و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۳). این رسوبات عمدتاً توسط زاینده رود حمل شده‌اند. (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه زمین شناسی پلایای گاوخونی و زمین های اطراف (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۹۶)

### کانی‌های رسی و بازسازی اقلیم دیرینه

همانگونه که قبلاً نیز ذکر شد عدم وجود کانی‌های رسی خاص محیط‌های دیاژنزی مانند سپیولیت، پالیگورسکیت و کورنزیت (چاملی، ۱۹۸۹، ۵۴) نشان دهنده عدم تاثیر یا تاثیر ناچیز دیاژنز نوع تبدیلی در رسوبات پلایای گاوخونی است. لذا با توجه به حصول اطمینان از عدم تاثیر دیاژنز تبدیلی بر روی کانی‌شناسی، می‌توان به اقلیم دیرینه در زمان‌های مختلف دست یافت. کلریت موجود در مغزه‌ها ممکن است از شیل‌های با شدت دیاژنز بالا، ماسه‌سنگ‌های متخلخل، سنگ‌های کربنات و یا در اثر فرایندهای دیاژنتیکی از ایلیت حاصل شده باشد. کانی‌های ایلیت و کلریت در مغزه‌های حاشیه‌ای در همه اعماق موجود می‌باشند که بنظر می‌رسد تحت تاثیر ثابت بودن منشا ذرات و وجود محیط‌های معتدل تا خشک و کم باران و احتمالاً سرد شدن هوا می‌باشد (خورمالی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵، ۱۹۹؛ ژو و کیلینگ<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳، ۷؛ آنایا-گرگوریو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸، ۱۲؛ هراندز-هینوجوسا<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸، ۱۷۰). در بخش شمالی پلایا کانی ایلیت و کلریت در همه عمق‌ها مشاهده می‌شود که با توجه به آنالیز کانی‌شناسی، عمدتاً ناشی از هوازدگی توده‌های بازیک شمال پلایا (کوه سیاه) می‌باشد. کانی کلریت در عمق‌های حدود ۷ متر و بیشتر مشاهده می‌شود که احتمال تبدیل ایلیت به کلریت در بخش‌های عمیق را تقویت می‌کند. وجود کانی رسی کائولینیت وابسته به کانی‌های همراه قابل تفسیر و تحلیل می‌باشد. افزایش فراوانی کانی‌های آواری بویژه کوارتز که حاکی از ورود جریان‌های رودخانه‌ای با حجم بالا در منطقه است می‌تواند به‌همراه

<sup>۱</sup> . Khormali

<sup>۲</sup> . Zhou and Keeling

<sup>۳</sup> . Anaya-Gregorio

<sup>۴</sup> . Hernández-Hinojosa

وجود کانی رسی کائولینیت نشان دهنده دوره‌های اقلیمی مرطوب و گرم باشد. در دوره‌هایی با بارندگی بیشتر کانی‌های رسی کلریت-کائولینیت غالب می‌باشند (عبدی و همکاران، ۲۰۱۸، ۶). به طور معمول در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب حاره ای با حداکثر هوازگی اکسیدهای آهن و کائولینیت غالب هستند. کانی کائولینیت در دو مغزه G-11 و G-13 در عمق‌های بیش از ۳ متر مشاهده می‌شود. مغزه‌های مذکور، در مصب رودخانه زاینده رود و بخش غربی پلایا قرار دارد. این مناطق در دوره‌های مختلف مرطوب و خشک بدلیل نزدیکی به مصب رودخانه زاینده رود غالباً شرایط مرطوب داشته‌اند. مونت‌موریلونیت تقریباً در همه طول مغزه قابل مشاهده است. نوع رخساره‌های رسوبی، نوع کانی‌های رسی موجود و نتایج سن‌سنجی، حضور مونت‌موریلونیت در مغزه‌های مرکزی پلایا با سنی بیش از ۲۵ هزار سال، شرایط معتدل در اواخر پلیستوسن را در منطقه تداعی می‌کند. با توجه به نرخ رسوبگذاری و بیشترین عمق برداشت شده در مغزه‌ها اقلیمی را می‌توان تا حداکثر ۴۰ هزار سال گذشته بازسازی کرد. بررسی ستون چینه‌شناسی مغزه‌های برداشت شده از بستر پلایا نشان دهنده تغییرات فراوان اقلیمی در این حوضه می‌باشد. وجود رخساره‌های تبخیری و آواری، وجود رخساره‌های دارای ماده آلی و بقایای گیاهی، تغییرات فراوان رسوب‌شناسی و پارامترهای آماری رسوبی و وجود رخساره‌های ماسه بادی نشان دهنده نوسانات اقلیمی و تغییرات تراز آب دریاچه بصورت تناوبی و متوالی در گذشته است. حساسیت بالای محیط‌های کم عمق و بسته به تغییرات اقلیمی باعث ثبت دقیق این نوسانات در بخش‌های حاشیه‌ای می‌شود. در مغزه‌های حاشیه‌ای مانند G-1 و G-2 تغییر در رخساره‌های رسوبی و نوع کانی‌های رسی بواسطه تغییرات اقلیمی فراوان است. همچنین در بخش‌های شمالی و مرکزی پلایا به واسطه تامین رسوبات از رودخانه زاینده رود تنوع کانی‌های رسی نسبت به سایر بخش‌ها زیاد است. از طرفی کانی‌های تبخیری در مغزه‌های داخل پلایا نسبت به مغزه‌های حاشیه‌ای و خارج از حوضه بیشتر می‌باشد همچنین از عمق به سطح حجم کانی‌های تبخیری افزایش می‌یابد. قدیمی‌ترین رسوبات برداشت شده در این پژوهش در مغزه G-9 می‌باشد که سنی حدود ۴۰ هزار سال دارد. این رسوبات دارای کانی‌های رسی مونت‌موریلونیت و ایلیت در بخش مرکزی پلایای گاوخونی می‌باشد. کانی‌های مونت‌موریلونیت و ایلیت با منشأ آواری اقلیم سرد و معتدل را در منطقه تداعی می‌کند. این شرایط اقلیمی تا حداقل ۲۵ هزار سال پیش ادامه داشته است ولی در این بین، کانی رسی کلریت در حدود ۳۴ هزار سال پیش در رسوبات مشاهده می‌شود که ممکن است در اثر فرایندهای دیاژنتیکی از ایلیت حاصل شده باشد. همچنین کلریت‌ها عمدتاً از هوازگی سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های دگرگونی درجه پایین حاصل می‌شوند (چاملی، ۱۹۸۹، ۱۸۳). این فرض تامین رسوب از سازند‌های بالا دستی زون ارومیه - دختر که غالباً دارای سنگ‌ها دگرگونی می‌باشد را قوت می‌بخشد. وجود شرایط سرد و مرطوب در اواخر پلیستوسن توسط کریسلی (۱۹۷۰) و عبدی و همکاران (۲۰۱۸) برای فلات ایران مرکزی و دریاچه حوض سلطان نیز گزارش شده است. فراوانی کانی کائولینیت بعنوان شاخصی برای دوره‌های پرآبی در قسمت شمال و مغزه G-11 که در خارج از حوضه پلایای گاوخونی و در بخش غربی هست مشاهده می‌شود. این کانی رسی در عمق‌های بیش از ۴ متر مشاهده می‌شود که نشان دهنده دوره‌های پرآبی در اواخر پلیستوسن (حدود ۱۸ هزار سال قبل) و پیشروی خطوط ساحلی به سمت خشکی (G-11) می‌باشد (کوهن، ۲۰۰۳، ۱۴۲). از حدود ۱۸ تا ۱۲ هزار سال گذشته شرایط مرطوب تدریجی کاهش پیدا کرده است در این دوره کائولینیت جای خود را به مونت‌موریلونیت داده است که حاکی از کاهش میزان بارندگی نسبت به دوره قبل که کانی کائولینیت قابل مشاهده است. با شروع هولوسن در پلایای گاوخونی شرایط اقلیمی تا حدودی تغییر کرده بگونه‌ای که در غالب مغزه‌های رسوبی کائولینیت مشاهده نمی‌شود و کانی‌های غالب ایلیت، کلریت و مونت‌موریلونیت می‌باشد. کانی مونت‌موریلونیت در مغزه‌های G-2، G-4، G-11 و G-13 قابل مشاهده است که با رخساره‌های دلتایی در عمق ۳-۴ متر در مغزه‌های G-2 و G-4 همخوانی خوبی نشان می‌دهد. همچنین وجود مونت‌موریلونیت در مغزه‌های برداشت شده شمالی (G-13)



حاکی از تغذیه دلتای زاینده رود در شمال گاوخونی است. وجود مونت‌موریلونیت در مغزه G-11 در بخش غربی پلایا و تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند بدلیل حضور شیل‌های آلتزه شده در بخش غربی حسن آباد باشد. افزایش کانی‌های تبخیری و عدم حضور کائولینیت و مونت‌موریلونیت در عمق حدود ۳ متری مغزه‌های برداشت شده از بستر پلایای گاوخونی در بخش مرکزی نشان دهنده وجود یک دوره خشک در حدود ۸ هزار سال پیش می‌باشد. این دوره که با گسترش ماسه‌های بادی در بستر حاشیه غربی پلایای گاوخونی همراه است، احتمالاً مصادف با رخداد ۸۲۰۰ سال پیش (هولوسن پیشین-میانی) در تغییرات دمایی کره زمین در طول هولوسن می‌باشد (رپ، ۲۰۱۹، ۱۵۷). از عمق حدود یک تا دو متری مغزه‌های برداشت شده از بخش مرکزی (ترانسکت عمود بر ساحل) نهشته‌های تبخیری غالب شده و کانی‌های ایلیت و کلریت قابل مشاهده است در همین دوره زمانی در مغزه‌های شمالی (مصب زاینده رود) کانی مونت‌موریلونیت به‌همراه ایلیت و کلریت وجود دارد. با توجه به اینکه زاینده رود یک رودخانه دائمی می‌باشد لذا وجود شرایط مرطوب در مصب رودخانه در طول ۴۰۰۰ سال گذشته منطقی به نظر می‌رسد. این شرایط ممکن است در هزار سال گذشته کمی خشک‌تر از قبل بوده باشد که با عدم حضور این کانی همراه است. بطور کلی دوره‌های کم‌آبی نسبی با افزایش در میزان رسوبات شیمیایی خصوصاً تبخیری‌ها و دوره‌های پرآبی درحوضه با افزایش میزان ماسه‌های آواری و همچنین کانی‌های رسی کائولینیت و مونت‌موریلونیت قابل شناسایی است.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس، نشان می‌دهد که رسوبات در پلایای گاوخونی به ترتیب فراوانی حاوی کانی‌های رسی ایلیت، کلریت، مونت‌موریلونیت، کائولینیت می‌باشد. همچنین به عنوان کانی‌های اصلی و عمومی کانی‌های کوارتز، کلسیت، فلدسپار، کانی‌های تبخیری و دولومیت دیده می‌شوند. بررسی توالی‌های رسوبی در مغزه‌های برداشت شده نشان‌دهنده افزایش رسوبات دانه‌ریز از حاشیه پلایا به سمت بخش‌های مرکزی است. این مسئله بدلیل اختلاف چگالی آب دریاچه با آب شیرین رودخانه‌ها و فعالیت فرایندهای بادی در حاشیه تالاب می‌باشد. از حاشیه پلایا به سمت بخش مرکزی و شرقی، کانی‌های تبخیری روند افزایشی پیدا می‌کنند و همچنین این افزایش از عمق به سطح در مغزه‌های برداشت شده از بستر پلایا مشهود است. در بین کانی‌های رسی بیشترین فراوانی مربوط به ایلیت و کلریت می‌باشد که منشا اقلیمی و سنگ مادر برای این دوکانی محتمل است. وجود مجموعه سنگ‌های بازالتی در شمال پلایا و سنگ‌های با دگرگونی ضعیف در بخش غربی منطقه (شیل‌های دگرگونی شده)، منشا سنگ مادر را به عنوان یک عامل مهم و تاثیرگذار تقویت می‌کند و از طرفی دیگر اقلیم سرد و مرطوب در مطالعات قبلی در حوضه‌های ایران مرکزی برای دوره زمانی اواخر پلیستوسن در نظر گرفته شده است. لذا با توجه به وجود این دو کانی می‌توان این اقلیم را برای اواخر پلیستوسن (۴۰-۲۵ هزار سال گذشته) در حوضه گاوخونی متصور شد. ظهور و حضور کانی کائولینیت و مونت‌موریلونیت در اواخر پلیستوسن تا اوایل هولوسن حاکم از شرایط معتدل و مرطوب است که با توجه به نوع رسوبات بنظر می‌سد پلایای گاوخونی به تبعیت از دریاچه‌های شمال آفریقا و جنوب آسیا شرایط پرآبی را پشت گذاشته است. شروع هولوسن با کاهش تدریجی سطح آب و استقرار اقلیم نسبتاً خشک‌تر از اواخر پلیستوسن همراه بوده است. افزایش کانی‌های تبخیری و عدم حضور کانی‌های کائولینیت و مونت‌موریلونیت در مغزه‌های برداشت شده از بستر پلایای گاوخونی در بخش مرکزی نشان دهنده وجود یک دوره خشک در حدود ۸ هزار سال پیش می‌باشد. این دوره خشک با حضور ماسه‌های بادی در بخش غربی پلایا نمایان‌تر است. در هولوسن میانی و پسین شرایط رطوبتی بصورت تدریجی مساعدتر از هولوسن پیشین بوده است. بخش شمالی پلایا بواسطه ورود رودخانه زاینده رود پرآب و مرطوب بوده است. بنظر می‌رسد در حدود هزار سال پیش اقلیم کمی خشک‌تر و با افزایش در میزان نهشته‌های تبخیری همراه است.

سیاسگزاری: از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور بدلیل حمایت‌های مادی و معنوی این پژوهش تشکر می‌گردد.

### منابع

- پورعلی، م.، سپهر، ع.، محمودی قرایی، م. ح.، ۱۳۹۸. کانی شناسی رسوبات سطوح مختلف ژئومورفیک پلایای سبزواری با توجه به تغییر و تحولات اواخر هولوسن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۲، صص ۸۶-۱۰۲.
- مقصودی، م.، مقیمی، ا.، یمانی، م.، چرخابی، ا. ح.، ایرانمنش، ف.، ۱۳۹۲. تحلیل وقایع محیطی هولوسن دشت آزادگان براساس توالی و خصوصیات رسوب‌شناسی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۲، شماره ۱، صص ۴۹-۶۶.
- صمد زاده، ر.، صمیمی هشتجین، پ.، ۱۳۹۷. بازسازی تکامل دیرینه ژئومورفولوژیک کواترنری حوضه آبخیز گزازچای خلخال، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۷، شماره ۱، صص ۱۶۱-۱۴۶.
- داودی، م.، عزیزی، ق.، مقصودی، م.، ۱۳۹۳. بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه پریشان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۳، شماره ۱، صص ۷۹-۶۵.
- Abdi, L., Rahimpour-Bonab, H., Mirmohammad-Makki, M., Probst, J., Langeroudi, S. R., 2018. Sedimentology, mineralogy, and geochemistry of the Late Quaternary Meyghan Playa sediments, NE Arak, Iran: palaeoclimate implications. *Arab J Geosciences*, 11(19): 588.
- Akarish, A. M. and El-Gohary, A. M., 2011. Provenance and Source Area Weathering Derived from the Geochemistry of Pre-Cenomanian Sandstones, East Sinai, Egypt. *Journal of Applied Sciences*. 11 (17): 3070-3088.
- Anaya-Gregorio, A., Armstrong-Altrin, J. S., Machain-Castillo, M. L., Montiel-García, P. C., Ramos-Vázquez, M.A., 2018. Textural and geochemical characteristics of late Pleistocene to Holocene fine-grained deep-sea sediment cores (GM6 and GM7), recovered from southwestern Gulf of Mexico. *Journal of Palaeogeography*. 7: 1-19.
- Bergaya, F., Theng, B. K. G., Lagaly, G., 2006. *Clays and clay minerals*. Elsevier. 1246.
- Bronk Ramsey, C. and Lee, S., 2013. Recent and Planned Developments of the Program OxCal. *Radiocarbon*, 55(2-3): 720-730.
- Brisset, E., Djarnali, M., Bard, E., Borschneck, D., Gandouin, E., Garcia, M., Stevens, L., Tachikawa, K., 2018. Late Holocene hydrology of Lake Maharlou, southwest Iran, inferred from high-resolution sedimentological and geochemical analyses. *J Paleolimnology*. 61(1):111-128
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Rensch, P. V., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Agus, S., McPhaden, M. J., Wu, L., England, M. H., Wang, G., Guilyardi, E., 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nat. Climate Change*. 4: 111-116.
- Català, A., Cacho I., Frigola J., Pena L. D., Lirer F., 2019. Holocene hydrography evolution in the Alboran Sea: a multi-record and multi-proxy comparison. *Climate Past*. 15: 927-942.
- Chamley, H., 1989. *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin, 623 pp.
- Cohen, A. S., 2003. *Paleolimnology: The history and evolution of lake systems*. Oxford University press, New York.
- De Gregorio, B. T., Stroud, R. M., Nittler, L. R., Alexander C. M. O., Bassim, N. D., Cody, G. D., Kilcoyne, A. L. D., Sandford, S. A., Milam, S. N., Nuevo, M., Zega, T. J., 2013.



- Isotopic and chemical variation of organic nanoglobules in primitive meteorites. Meteorit Planet Sci, 48:904–928.*
- Dianto, A., Subehi, L., Ridwansyah I., Hantoro, W S., 2019. Clay minerals in the sediments as useful paleoclimate proxy: Lake Sentarum case study, West Kalimantan, Indonesia. *International Symposium on Geophysical Issues. Earth and Environmental Science. 311. 012036.*
  - Dong, H. M. and Song, Y. G., 2009. Clay mineralogy and its application to paleoenvironmental reconstruction. *Marine Geology and Quaternary Geology. 29(6): 119–130.*
  - Fagel, N., 2007. Clay minerals, deep circulation and climate. *developments in marine geology. Elsevier. 1: 139-184.*
  - Garzanti, E., Al-Juboury, A. I., Zoleikhaei, Y., Vermeesch, P., Jotheri, J., Bal-Akkoca, D., Kadhim-Obaid, A., Allen, M. B., Ando, S., Limonta, M., Padoan, M., Resentini, A., Rittner, M., Vezzoli, G., 2016. The Euphrated-Tigris-Karun river system: provenance, recycling and dispersal of quartz-poor foeland-basin sediments in arid climate. *Earth-Science Reviews. 162: 107-128.*
  - Glenn, C. and Filippelli, G. M., 2007. Authigenic mineral formation in the marine environment: Pathways, processes and products. *Deep Sea Research II. 54(11-13): 1-6.*
  - Graham, R. C. and O'Green. A. T., 2010. Soil mineralogy trends in California landscapes. *Geoderma. 154: 418-437.*
  - Hernández-Hinojosa, V., Montiel-García, P. C., Armstrong-Altrin, J. S., Nagarajan, R., Kasper-Zubillaga, J. J., 2018. Textural and geochemical characteristics of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico. *Carpathian J Earth Environ Sci, 13: 161–174.*
  - Hindshaw, R. S., Tosca, N. J., Piotrowski, A. M., Tipper, E. T., 2018. Clay mineralogy, strontium and neodymium isotope ratios in the sediments of two high Arctic catchments (Svalbard). *Earth Surface Dynamics. 6: 141-161.*
  - Jiwaringrueangkul, T., Liu, Z., Stattegger, K., & Sang, P. N., 2019. Reconstructing chemical weathering intensity in the Mekong River basin since the Last Glacial Maximum. *Paleoc eanography and Paleoc limatology, 34: 1710–1725.*
  - Kwak, K. Y., Choi, H., Cho. H. G., 2016. Paleo-environmental change during the late Holocene in the southeastern Yellow Sea, Korea. *Applied Clay Science. Clay-03857. Page 1-7.*
  - Ketzer, J. M., Morad, S., Amorosi, A., 2003. Predictive diagenetic clay-mineral distribution in siliciclastic rocks within a sequence stratigraphic framework. In: R. H., Worden Morad, S., (eds.), *Clay cements in sandstones. International Association of Sedimentologists Special Publication. 34: 42–59.*
  - Khormali, F., Abtahi, A. and Owliaie, H. R., 2005. Late Mesozoic Cenozoic clay mineral successions of southern Iran and their palaeoclimatic implications. *Clay Minerals. 40: 191-203.*
  - Lamy, F., Klump, J., Hebbeln, D., Wefer, G., 2000. Late Quaternary rapid climate change in northern Chile. *Terra Nova, 12(1): 8–13.*
  - Linders, T., Infantes, E., Joyce, A., Karlsson, T., Ploug, H., Hasselov, M., Skold, M., Zetsche, E. M., 2018. Particle sources and transport in stratified Nordic coastal seas in the Anthropocene. *Elem. Sci. Anth. 29: 1-17.*
  - Liu, J., Chen, M., Chen, Zh., Yan, W., 2010. Clay mineral distribution in surface sediments of the South China Sea and its significance for in sediment sources and transport. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 28: 407-415.*
  - Liu, R., Me, X., Zhang, J., Zhao, D., 2019. Characteristics of clay minerals in sediments of Hemudu area, Zhejiang, China in Holocene and their environmental significance, *China Geology 1: 8-15.*

- Maccali, J., Hillaire-Marcel, C., Not, C., 2018. Radiogenic isotope (Nd, Pb, Sr) signatures of surface and sea ice-transported sediments from the Arctic Ocean under the present interglacial conditions. *Polar Research*, v. 37, p. 1-13.
- Martinez-Ruiz, F., Comas, M. C., Alonso, B., 1999. Mineral Associations and geochemical indicators in Upper Miocene to Pleistocene sediments in the Alboran Basin. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Reports*, v. 161, p. 21-37.
- Meunier, A., 2005. *Clays*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 472p.
- Moore, D. M., Reynolds, R. C., 1989. *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals* Oxford, Oxford University Press, 332.
- Nichols, G., 2009. *Sedimentology and stratigraphy*, 2<sup>nd</sup> edn. Chichester, UK, Blackwell Science, 432p.
- O'Geen, A., Pettygrove, S., Southard, R., Verdegaal, P., 2008. Soil-landscape model helps predict potassium supply in vineyards. *California Agriculture*. 62(4): 195-201.
- Oliveria, A., Vitorino, J., Rodrigues, A., Jouanneau, J. M., Dias, J. M. A., Weber, A., 2002. Nepheloid layer dynamics of the northern Portuguese shelf: *Progress Oceanography*. 52: 195-213.
- Opitz, S., Ramisch, A., IJmker, J., Lehmkuhl, F., Mischke, S., Stauch, G., Wünnemann, B., Zhang, Y., Diekmann, B., 2016. Spatio-temporal pattern of detrital clay-mineral supply to a lake system on the north-eastern Tibetan Plateau, and its relationship to late Quaternary paleoenvironmental changes. *Catena* 137: 203–218.
- Rapp, D., 2019. *Ice Ages and Interglacials Measurements, Interpretation, and Models (3<sup>rd</sup> Edition)*. Springer International Publishing, Published in Springer Nature Switzerland. 346 p.
- Rezapour, S. and Fallahi, F., 2017. Effect of crop rotation on the changes of potassium forms and clay minerals under Mediterranean climatic condition. *Iran Agricultural Research*. 36(1): 79-90.
- Savage, P. S., Georg, R. B., Williams, H. M., Halliday, A. N., 2013. The silicon isotope composition of the upper continental crust. *Geochimica et cosmochimica acta*. 109: 384-399.
- Song, Y. G., Wang, Q. S., An, Z. S., Qiang, X. K., Dong, J. B., Chang, H., Zhang, M. S., Guo, X. H., 2017. Mid-Miocene climatic optimum: Clay mineral evidence from the red clay succession, Longzhong Basin, Northern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 512: 6-55.
- Tang, Y. J., Jia, J. Y., Xie, X. D., 2002. Environment significance of clay minerals. *Earth Sci Front*. 9(2): 337–344 (in Chinese)
- Thiry, M., 2000. Paleoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin. *Earth Science Review*. 49: 201-221.
- Tucker, M. E., 1994. *Sedimentary petrology*, 2<sup>nd</sup> edn. Blackwell, 272p.
- Vanderaveroet, P., Averbuch, O., Deconinck, J. F., Chamley, H., 1999. A record of glacial/interglacial alternations in Pleistocene sediments off New Jersey expressed by clay mineral, grain-size and magnetic susceptibility. *Marine Geology*. 159: 79–92.
- Velde, B., 1995. *Origin and mineralogy of clays*. Clays and the environment. Springer-Verlag, Berlin. 356.
- Zhou, C. H. and Keeling, J., 2013. Fundamental and applied research on clay minerals: From climate and environment to nanotechnology. *Applied Clay Science*. 74: 3-9.